

**Kontinuierliche Überwachung der Blutgase
in der Kinderbronchologie mit
PO₂- und PCO₂-Hautelektroden**

Stefan Stöckel

November 1984

*Diss
München*

Druck: Copy-Center in Dahlem
Ladenbergstraße 2-4
1000 Berlin 33
Tel. 831 40 25

Aus dem Dr. von Haunerschen Kinderspital der
Universität München

Kinderchirurgische Klinik
(Direktor: Prof. Dr. W.Ch. Hecker)

Abteilung für Pädiatrische Anästhesie und
Intensivmedizin
(Leiter: Priv. Doz. Dr. K. Mantel)

Kontinuierliche Überwachung der Blutgase in der
Kinderbronchologie mit PO_2 - und PCO_2 -Hautelektroden

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Stefan Stöckel
aus Raubling

1984

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin
der Universität München

Berichterstatter : Priv. Doz. Dr. K. Mantel

Mitberichterstatter: Prof. Dr. W. Ch. Hecker

Dekan : Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 27.11. 1984

M E I N E N E L T E R N



Digitized by the Internet Archive
in 2026

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
A. EINLEITUNG	1
B. METHODE	2
1. Methoden der Kinderbronchologie	2
1.1. Methoden der Anästhesie	3
1.2. Probleme der Überwachung	4
2. Transcutane Blutgasmessung	5
2.1. Entwicklung transcutaner MeBelektroden	5
2.2. Elektrodenmeßprinzip	6
2.2.1. Sauerstoffelektrode	6
2.2.2. Kohlendioxidelektrode	7
2.3. Gerätebeschreibung	8
2.4. Eichung	10
3. Untersuchungsverlauf bei broncho- logischen Eingriffen	11
3.1. Vorbereitung des Patienten	11
C. EIGENE ERGEBNISSE	12
1. Laryngotracheoskopien	12
1.1. Überwachung bei Spontanatmung	12
1.2. Überwachung bei Beatmung über Endotrachealtubus	15
1.3. Überwachung bei Injektorbeatmung	18
2. Überwachung bei Bronchoskopien	21
3. Überwachung bei Fremdkörper- extraktion	23
4. Vergleich der transcutan gemessenen Werte zu arteriell bestimmten Blut- gaswerten	25
D. DISKUSSION	30
1. Bedeutung der Blutgasüberwachung	30
2. Technische Probleme	31
3. Praktische Anwendung	34
E. ZUSAMMENFASSUNG	38
F. LITERATUR	39

A. EINLEITUNG

Während bereits im Jahre 1613 P. Borel in Frankreich die Ausleuchtung von Körperhöhlen mit Hilfe von Licht und Spiegeln versuchte und beschrieben hatte, dauerte es noch rund 250 Jahre bis die Grundlagen der heutigen Endoskopie von Kußmaul in Freiburg geschaffen wurden.

G. Killian gelang dann 1897 die erste bronchoskopische Fremdkörperentfernung. Nachdem Brünnings 1915 das Instrumentarium weiterentwickelt hatte, verbesserten Hasslinger und Chevalier-Jackson 1950 die diagnostischen Möglichkeiten der Bronchoskopie und erweiterten die Indikationen dazu (Pialoux und Soudant, 1983).

In der Pädiatrie wurde die Bronchoskopie erst mit der Entwicklung kleinerer Instrumente möglich, so daß der Beginn der Kinderbronchologie durch die Arbeiten von Friedel auf 1956 datiert werden kann (Pollich, 1980).

Neben der Verbesserung der Untersuchungsmethoden war jedoch auch die Entwicklung der modernen Anästhesie und Intensivmedizin notwendig, um ausgedehnte Kinderbronchologische Eingriffe zu ermöglichen. Erst die Zusammenarbeit von Kinderanästhesisten und Pädiatern ergibt ein optimales Maß an Sicherheit für die kleinen Patienten. Daneben konnte das laufende Monitoring mit elektronischen Überwachungsgeräten die Sicherheit bei Eingriffen an Risikopatienten verbessern. Mußten hier bis vor kurzer Zeit die arteriellen Blutgase noch punktuell und blutig gemessen werden, so stehen nun im Handel erhältliche Geräte zur Verfügung, die über Hautelektroden den Partialdruck von Sauerstoff (pO_2) und Kohlendioxid (pCO_2) fortlaufend und unblutig messen.

In der vorliegenden Arbeit soll geprüft werden, ob die kontinuierliche transcutane Messung von Blutgasen im Routinebetrieb der Kinderbronchologie durchführbar ist und inwieweit sie zur Patientensicherheit bei bronchologischen Eingriffen beitragen kann.

B. METHODE

1. Methoden der Kinderbronchologie

Seit 1968 werden an der Universitätskinderklinik München kinderbronchologische Eingriffe vorgenommen. Waren es im ersten Jahr 25 Eingriffe, so stieg die Zahl bis 1976 auf 165 (Pollich 1980) und lag 1983 bei 273.

Folgende Techniken kommen zur Anwendung:

- Laryngoskopien
- Laryngotracheoskopien
- Bronchoskopien
- Bronchographien, auch in Kombination mit Angiographien der großen Gefäße und des Herzens.

Die am häufigsten angewandten Untersuchungen sind dabei Laryngotracheoskopie und Bronchoskopie.

Bronchologische Untersuchungen im Kindesalter stellen auch heute noch ein besonderes Problem dar. Durch die kleinen anatomischen Verhältnisse ist es oft schwierig, eine technisch befriedigende Untersuchung bei gleichzeitig guter Beatmung des Kindes durchzuführen, da Untersuchungsgerät und Atemgase den gleichen Weg nehmen müssen.

Bronchoskopien im Kindesalter lassen sich nicht in Lokalanästhesie durchführen. Da die Patienten zur Untersuchung häufig auch relaxiert werden müssen, ist ohnehin eine Narkose erforderlich. Somit kommt zur technischen Schwierigkeit der Untersuchung noch die Notwendigkeit hinzu, eine Allgemeinanästhesie durchführen zu müssen.

Als weiteren Punkt, der die Situation schwierig macht, sei die Tatsache erwähnt, daß die kleinen Patienten oft krankheitsbedingt eine behinderte Atmung haben oder sich gar in einem lebensbedrohlichen Krankheitszustand befinden.

Um alle diese Schwierigkeiten meistern zu können, muß für die Untersuchung ein gut eingearbeitetes Ärzteteam vorhanden sein. Wie für jede pädiatrische Narkose ist zunächst ein erfahrener Kinderanästhesist erforderlich. Daneben steht in gleich verantwortlicher Position der erfahrene Bronchoskopiker, der mit dem Anästhesisten sehr eng zusammenarbeiten muß. Als dritte Kraft wird noch eine Schwester oder ein Pfleger benötigt, der die erforderlichen Untersuchungsgeräte in rascher Reihenfolge anreichern und bedienen kann.

1.1. Methoden der Anästhesie

Bei bronchologischen Untersuchungen kommen auf den individuellen Fall abgestimmte Anästhesiemethoden zur Anwendung. Da es meist kurze Eingriffe sind, wird es im Regelfall eine Inhalationsnarkose unter Anwendung von Sauerstoff und Lachgas in Kombination mit Halothan sein. Besonders bei Laryngotracheoskopien mit schon liegender Trachealkanüle oder Endotrachealtubus bewährt sich dieses Verfahren. Bei länger dauernden oder häufig zu wiederholenden Untersuchungen kommen intravenöse Narkosearten zur Anwendung. Zum Beispiel Ketamin in Kombination mit Diazepam, Barbiturate oder Neuroleptika. Schon vorher beatmete Kinder und solche, die nachbeatmet werden oder sich in kritischem Zustand befinden, können mit Fentanyl und Diazepam anästhesiert werden.

Die Relaxierung richtet sich nach der Untersuchungsanforderung und der Zeitdauer des Eingriffes. Kürzere Verfahren sowie Intubationen erfolgen unter Succinylcholingabe. Bei längeren Eingriffen kommt Pancuronium zur Anwendung. Prinzipiell wird immer relaxiert. Ist ausnahmsweise die Spontanatmung des Patienten erwünscht, z. B. zur Prüfung der Stimmbandfunktion, wird er intermittierend mit der Hand über ein halboffenes System assistiert beatmet.

Daneben kann in geeigneten Fällen eine Injektorbeatmung vorgenommen werden. Hierfür steht uns ein Injektomat 2025 der Firma R. Wolf GmbH zur Verfügung. Diesem ist ein Lachgas / Sauerstoffmischer vorgeschaltet.

1.2. Probleme der Überwachung

Wie bei jeder anderen Anästhesie, sind auch bei bronchologischen Untersuchungen gewisse Grundüberwachungsmethoden zur Patientenbeobachtung notwendig. Neben einem EKG-Monitoring erfolgen regelmäßige Blutdruckkontrollen. Daneben ist ein zuverlässiger Venenzugang erforderlich. Wir bevorzugen dafür Kunststoffverweilkanülen der Größen G 22 und G 24.

Eine der wichtigsten Kontrollmöglichkeiten des Patientenstatus ist die klinische Beurteilung der Thoraxexkursion sowie die Beurteilung der Hautfarbe und der Kapillardurchblutung. Unter den Bedingungen der Endoskopie sind diese Parameter dann bei abgedunkeltem Untersuchungsraum schwierig zu beurteilen. Die Kreislaufparameter Puls und Blutdruck ergeben erst mit erheblicher zeitlicher Verzögerung die Möglichkeit, Insuffizienzen der Atmung oder der Sauerstoffzufuhr zu erkennen. Insbesondere bei längeren Narkosen besteht daher die Notwendigkeit, mehrmals arterielle Blutgasanalysen durchzuführen. Aus diesem Grunde war es naheliegend zu untersuchen, ob sich die Methode der transcutanen Sauerstoff- und Kohlendioxidmessung mittels Hautelektroden als zusätzliches Überwachungskriterium einsetzen läßt (Huch A., Huch R., Lucey J.F., 1979). Eventuell besteht damit die Möglichkeit den Untersuchungsablauf zu steuern, d. h. schon zu reagieren *b e v o r* der Patient in einen Zustand der Hypoxie oder Hyperkapnie gerät.

Über die Brauchbarkeit der Methode zur Langzeitüberwachung,

insbesondere bei Neugeborenen, besteht kein Zweifel mehr (Riegel 1979, Vermold et al. 1976, 1978). Auch die Grenzen der Methode sind in diesem Bereich gut dokumentiert (Vermold et al. 1979, 1981).

2. Transcutane Blutgasmessung

2.1. Entwicklung transcutaner Meßelektroden

Bereits 1851 beschrieb Gerlach in Berlin, daß ein Austausch von Sauerstoff und Kohlendioxid zwischen Haut und Umgebungsluft stattfindet. Fast genau 100 Jahre später fanden 1951 Baumberger und Goodfriend eine Beziehung zwischen dem über die Haut abgegebenen Sauerstoff und der arteriellen Sauerstoffspannung (Baumberger, Goodfriend 1951). 1957 kam Rooth zu ähnlichen Ergebnissen und führte erstmals Messungen in der Haut mit einer Platinelektrode durch, wie sie von Clark entwickelt und beschrieben wurde (Rooth, Sjöstedt, Caligara 1957, Clark 1956). Evans und Naylor entdeckten grundlegende Zusammenhänge über den Sauerstofftransport durch die Haut (Evans and Naylor 1966/67). 1969 gelang dann Lübbers und Huch die Entwicklung der ersten brauchbaren Sauerstoff-Haut-elektrode (Huch R., Lübbers, Huch A. 1969, 1972). 1972 entwickelten auch Eberhard und Hammacher eine ähnliche Elektrode (Eberhard, Hammacher, Mindt 1972, Lübbers 1981). Das transcutane Kohlendioxid-Meßprinzip wurde nach Konzepten von Stowe und Randall 1957 entwickelt (Stowe, Baer, Randall 1957) und dann von Severinghaus modifiziert (Severinghaus, Bradley 1958). Jedoch wurden hier erst in den letzten Jahren für den Routineeinsatz brauchbare Elektroden entwickelt (Huch, Fallenstein 1979, Severinghaus 1979, Eberhard 1980).

2.2. Elektrodenmeßprinzip

2.2.1. Sauerstoffelektrode

Für die Sauerstoffmessung wurde von uns eine nach Clark modifizierte Elektrode, wie sie vorstehend erwähnt ist, der Fa. Novamatrix Medical Systems verwendet.

Sie besteht aus dem Membrangehäuse und dem Meßteil, welches über ein Kabel mit dem Anzeigegerät verbunden wird. Die Membran ist für Sauerstoff durchlässig. Zwischen Membran und Elektrode ist eine Elektrolytflüssigkeit eingebracht, welche mit jedem Membranwechsel erneuert wird. Die fertig bezogene Elektrode wird mit Hilfe eines Kleberinges luftdicht auf die Haut aufgeklebt. Die Verbindung zwischen Hautoberfläche und Membran wird durch ein spezielles Kontaktgel hergestellt.

Der Meßteil der Elektrode besteht aus einer Platinkathode und einer Silberanode. Die Platinkathode wird durch den auftreffenden Sauerstoff oxidiert und es entsteht ein Stromfluß, der gemessen werden kann und proportional zum umgesetzten Sauerstoff ansteigt.

Umgeben ist die Elektrode von einem Heizring mit einem hochempfindlichen Thermistor, um eine konstante Hyperthermie auf der Hautoberfläche zu erreichen. Die Heizung der Elektrode ist notwendig, um wichtige Voraussetzungen für die Messung zu schaffen.

Die Hyperthermie führt zu einer Weitstellung der Gefäße im Kapillarbereich. Damit wird die Kapillardurchblutung derart verändert, so daß eine gute Durchblutung mit ausreichendem Fluß gewährleistet wird. Daneben wird die Sauerstoffdiffusion durch die Hautoberfläche (Stratum corneum) verbessert. Außerdem verschiebt sich die Oxy-Hämoglobin-Dissotiationskurve im Kapillarblut nach rechts, wodurch die Sauerstoffabgabe an das Gewebe verbessert wird.

2.2.2. Kohlendioxidelektrode

Für die Kohlendioxidmessung wird eine Stowe-Randall-Elektrode, die von Severinghaus modifiziert wurde, verwendet.

Sie ist ebenfalls in ein Meßteil und ein Membrangehäuse unterteilt. Die Membran ist für Kohlendioxid durchlässig und auch durch eine Elektrolytflüssigkeit von der Elektrode getrennt. Die Anbringung auf der Haut erfolgt entsprechend der Sauerstoffelektrode.

Die Kohlendioxid-Meßelektrode besteht im Prinzip aus einer pH-Glaselektrode und einer Referenzelektrode.

Dringt nun Kohlendioxid durch die Membran in die Elektrolytflüssigkeit, so reagiert es mit Wasser zu Kohlensäure. Dabei wird der pH-Wert der Elektrolytflüssigkeit verändert und proportional dazu ändert sich die elektrische Spannung zwischen pH- und Referenzelektrode.



Abb. 1: TcO_2 - und TcCO_2 -Elektroden beim Patient aufgeklebt

Auch diese Elektrode muß geheizt werden, um repräsentative Meßwerte zu liefern. Wie Sauerstoff diffundiert auch Kohlendioxid bei Erwärmung schneller durch das Stratum corneum der Haut. Hierbei wird allerdings auch der lokale Hautstoffwechsel erhöht, was zu einer zusätzlichen Kohlendioxidproduktion führt. Dieser Fehler muß eingerechnet werden.

2.3. Gerätebeschreibung

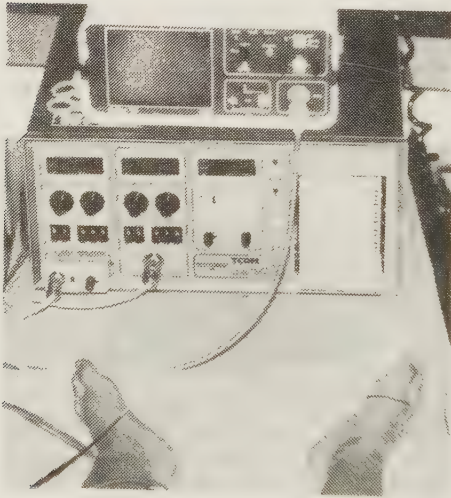


Abb. 2: TcO₂M 818-Monitor in Betrieb

Das hier verwendete Gerät ist ein TcO₂M 818 (Transcutaneous O₂/CO₂-Monitor) der Fa. Novamatrix Medical Systems Inc., Wallingford Connecticut USA, das uns dankenswerterweise von der Fa. Engström, München zur Verfügung gestellt wurde. Bei diesem Gerät handelt es sich um ein kombiniertes O₂/CO₂-Meßgerät mit angeschlossenem Schreiber. Im Sauerstoffteil wird die gemessene Sauerstoffspannung digital

in mm Hg angezeigt.

In gleicher Weise ist der Kohlendioxidteil in seiner Funktion aufgebaut. Beide Meßwerte können nach oben und unten durch Alarmgrenzen abgesichert werden. Die jeweilige Justiereinrichtung zum Eichen ist handlich und gegen Verstellung arretierbar.

Ein dritter Geräteteil sorgt für die Heizung und Temperaturüberwachung der Hautelektroden. Neben der Temperatur kann zusätzlich die Heizleistung eingestellt werden. Beide Werte werden digital angezeigt und können über eine Alarmeinrichtung abgesichert werden.

Die Registrierung der Heizleistung, welche für die Elektrodenerwärmung erforderlich ist, scheint vorteilhaft zu sein, weil damit die lokale Hautdurchblutung unter der Meßelektrode in gewissem Umfang abschätzbar ist.

Bei guter Hautdurchblutung wird die Wärme unter der Elektrode schnell abgeführt, so daß für eine Temperaturkonstanz an der Elektrode eine relativ höhere Heizleistung erforderlich ist. Sinkt die Hautdurchblutung ab, so ist für die Erhaltung der gleichen Temperatur weniger Heizenergie erforderlich und die Heizleistung sinkt ab.

In Kombination mit den Veränderungen der Blutgase scheint somit in beschränktem Umfang auch eine Beurteilung der Kreislaufsituation möglich, da die Hautdurchblutung wesentlich von ihr abhängt.

Den vierten Geräteteil bildet der Schreiber. Hier werden auf speziellem Thermopapier drei Kurven registriert:

- Sauerstoff im Meßbereich 0 - 200 mm Hg
- Kohlendioxid im Meßbereich 0 - 100 mm Hg
- LPR im Meßbereich 0 - $\pm$ 40 mW

(LPR bedeutet "Lokale Perfusionsrelation", d.h. hier wird durch Aufzeichnen der ansteigenden oder abfallenden Heizleistung die, oben erwähnten, Veränderungen der Hautdurchblutung erfaßt.)

Die Papiervorschubgeschwindigkeit kann auf 1 oder 3 cm/Min. eingestellt werden. Eine Markiertaste erlaubt spezielle Vorgänge zeitlich zu markieren.

2.4. Eichung

Vor Beginn der Eichung muß das Gerät ca. 30 Minuten warmlaufen, um die nötige Stabilität zu erreichen. Zunächst werden die beiden Meßelektroden von Elektrolytrückständen befreit und getrocknet. Danach trägt man jeweils einen Tropfen der zugehörigen Elektrolytflüssigkeit auf und verschraubt das Membrangehäuse mit der Elektrode. Hierbei ist darauf zu achten, daß die Membran ohne Falten aufgezogen ist und keine Luftblasen eingeschlossen werden. Anschließend müssen sich beide Elektroden 15 Minuten stabilisieren; die Sauerstoffelektrode in Luft und CO_2 -Elektrode in 10 % CO_2 -Gas. Die Elektrodentemperatur wurde auf 43° C eingestellt. Danach wird die Sauerstoffelektrode in O_2 -freiem Gas auf Null geeicht. Im nächsten Schritt wird die CO_2 -Elektrode im niedrigen Eichgasmilieu (5 %) und die Sauerstoffelektrode im hohen Eichgasmilieu (12 %) eingepegelt. Zuletzt muß dann die CO_2 -Elektrode im hohen Eichgasmilieu (10 %) justiert werden.

Jede Einzeleichung erfordert jeweils etwa 5 Minuten Zeit. Der gesamte Vorgang nimmt 50 bis 60 Minuten in Anspruch, ohne Warmlaufen des Gerätes.

Nach dem Eichvorgang bleiben die Elektroden etwa 15 Minuten stabil. Innerhalb dieser Zeit mußte der Patient dann angeschlossen werden. Die Membranhaltbarkeitsdauer sollte nach Herstellerangaben etwa 7 - 10 Tage bei der Sauerstoff- und etwa 48 Stunden bei der Kohlendioxidelektrode betragen. Da sich jedoch bei häufigen oder längeren Messungen immer wieder Gasblasen unter den Membranen bildeten, konnten die angegebenen Zeiten nicht verwirklicht werden. Ein Nachfüllen

von Elektrolyt erwies sich als nicht durchführbar, ohne die Membran zu wechseln, so daß die Membranen spätestens jeden zweiten Tag gewechselt werden mußten.

3. Untersuchungsablauf bei bronchologischen Eingriffen

3.1. Vorbereitung des Patienten

Die kleinen Patienten werden zur bronchoskopischen Untersuchung in gleicher Weise wie zu anderen kinderchirurgisch-anästhesiologischen Eingriffen vorbereitet. Nach erfolgter Prämedikation - bei uns Thalamonal und Atropin nach Gewichtstabelle i.m. verabreicht - wird der Patient auf dem Untersuchungstisch gelagert. Zur Überwachung werden EKG-Monitor und Blutdruckmeßgerät angeschlossen. Dann erfolgt das Aufkleben der Elektroden.

Hierzu wird die Haut an der Klebestelle mit Alkohol gereinigt; die Elektroden werden mit einem Tropfen Kontaktgel versehen und mit Hilfe des Kleberings luftdicht auf der Haut fixiert. In der nun folgenden Stabilisierungszeit beobachtet man, ob ein genügend schnelles Einpendeln erfolgt. Ist das nicht der Fall, muß ein neuer Meßpunkt gewählt werden.

Wir kleben die Elektroden bevorzugt auf den ventralen Thorax. Nach zufriedenstellender Stabilisierung erfolgt dann die Narkoseeinleitung, in der Regel durch Inhalation von Sauerstoff/Lachgas und Halothan bis zum Erreichen eines Toleranzstadiums. Anschließend wird ein venöser Zugang geschaffen und eine 5 %-Glucoselösung mit physiologischer Kochsalzlösung im Verhältnis 4 : 1 gemischt infundiert.

Nach Relaxierung des Patienten erfolgt dann je nach Untersuchung das Einsetzen des Stützautoskopes oder die Intubation mit dem Bronchoskop.

C. EIGENE ERGEBNISSE

1. Laryngotracheoskopien

1.1. Überwachung bei Spontanatmung

Der kleine Patient B.R., leidet an einem inspiratorischen Stridor, der mit Hilfe einer Laryngotracheoskopie abgeklärt werden soll. Die Untersuchung ergibt eine stenosierende Laryngo-Tracheitis. Außerdem liegt ein weicher Kehldeckel vor.

Die Narkose für die Untersuchung wird durch Inhalation eines Sauerstoff-Lachgasgemisches im Verhältnis 1 : 1 unter Zugabe von 2,5 Vol. % Halothan begonnen.

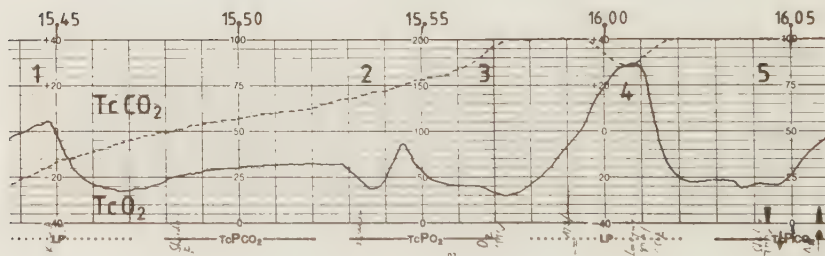


Abb. 3: Patient B.R., 6 Monate, 7.300 g, inspiratorischer Stridor bei stenosierender Laryngo-Tracheitis

Beim Beobachtungspunkt 1 schläft das Kind. Klinisch ist ein verstärkter inspiratorischer Stridor zu bemerken. Als Folge davon fällt die Sauerstoffkurve ($TcPO_2$) ab und die Kohlendioxidkurve ($TcCO_2$) steigt kontinuierlich an.

In 2 fällt der Sauerstoff bis auf 30 mm Hg ab und die Kohlendioxidkurve steigt auf 70 mm Hg an. Klinisches Korrelat dazu ist ein beginnender Laryngospasmus.

Nach Maskenbeatmung mit 100 % Sauerstoff 3 beginnt mit einer Verzögerung von etwa 1 Minute die Sauerstoffkurve anzusteigen und die Kohlendioxidkurve wieder abzufallen, welche kurzfristig einen Wert von 120 mm Hg erreichte. Nach Einsetzen der Stütze für die Autoskopie 4 sieht man wieder einen raschen Sauerstoffabfall und Kohlendioxidanstieg. Der Patient atmet zu diesem Zeitpunkt spontan. Erst nach Relaxation und Intubation mit kontrollierter Überdruckbeatmung 5 ergibt sich eine rasche Verbesserung der Blutgase.

In der folgenden Abbildung ist die Spontanatmungsphase bei der Untersuchung des Patienten C.F. wiedergegeben. Der Patient ist wegen eines Microlarynx tracheotomiert, die Laryngoskopie erfolgt zur Verlaufskontrolle.

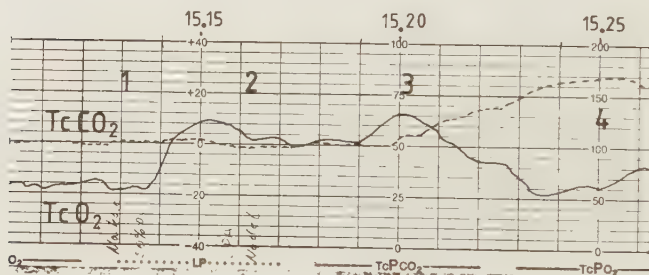


Abb. 4: Patient C.F., 6.100 g, Microlarynx

Die Narkoseeinleitung 1 erfolgt durch Inhalation von Sauerstoff und Lachgas im Verhältnis 1 : 1, unter Zugabe von 2,5 Vol.% Halothan. Das Legen eines venösen Zuganges ergibt nur eine geringe Kurvenabweichung 2. Die Halothankonzentration wird nun auf 1,5 Vol.% zurückgenommen. Nach 7 Minuten Narkosedauer 3 ist deutlich zu erkennen, daß die Sauerstoffspannung absinkt und die Kohlendioxidspannung ansteigt. Da keine äußere Manipulation stattfindet, ist diese Kurvenänderung als narkosebedingte Hypoventilation aufzufassen. Unter Maskenbeatmung 4 steigt der Sauerstoff rasch an und das Kohlendioxid fällt auf den Ausgangswert ab.

1.2. Überwachung bei Beatmung über Endotrachealtubus

In der Abbildung 5 ist der weitere Untersuchungsablauf des Patienten B.R. dargestellt, dessen Spontanatmungskurve zu Anfang beschrieben wurde.

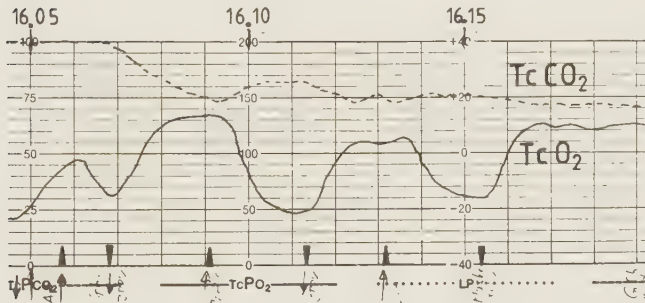


Abb. 5: Patient B.R., 6 Monate, gleicher Patient wie Abb. 3

Man kann hier sehr eindrucksvoll die Änderung der Blutgaswerte während des Untersuchungsablaufes erkennen.

Das Zeichen ▼ markiert jeweils die Intubation mit einem Endotrachealtubus mit nachfolgender Überdruckbeatmung. Beim Zeichen ▲ erfolgt die Extubation und die Einführung des Untersuchungsinstrumentes, was gleichbedeutend mit einer Apnoephase ist.

Man kann gut erkennen, daß nach jeder Intubation mit Beatmung die Sauerstoffkurve ansteigt und die Kohlendioxidkur-

ve abfällt. Ebenso fällt die Sauerstoffspannung nach Ex-tubation und Apnoe ab, während die Kohlendioxidspannung wieder ansteigt. Die Kurvenumkehr erfolgt jeweils 30 - 40 Sekunden nach der entsprechenden Manipulation, was für die Beurteilung durch den Anästhesisten ausreichend ist. Nach Ende der Untersuchung wird der Patient über die Maske assistiert beatmet, bis eine ausreichende Spontanatmung vorhanden ist. Im Gleichgewichtszustand wird dann zur Kontrolle eine arterielle Blutgasabnahme durchgeführt, die einen Vergleich mit den transcutan gemessenen Werten erlaubt.

Im folgenden ist eine zweite Blutgaskurve während einer Laryngotracheoskopie dargestellt. Der Patient S.Ch. ist ein ehemaliges Frühgeborenes mit einem Geburtsgewicht von 580 g. Der Patient ist seit Geburt intubiert, mehrere Ex-tubationsversuche sind bisher fehlgeschlagen. Es liegt eine Intubationsstenose im subglottischen Bereich mit einer Lumeneinengung von ca. 40 % vor.

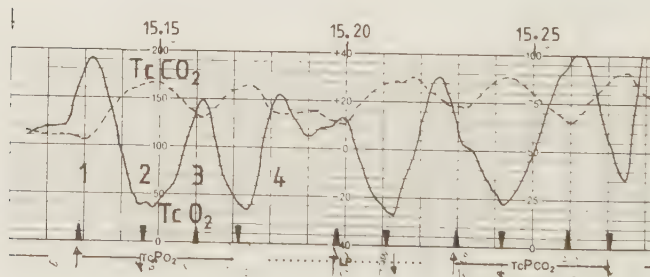


Abb. 6: Patient S.Ch., 4 Monate, 2.060g,
Larynxstenose bei Langzeitintubation

Die Narkoseeinleitung erfolgt wiederum durch Inhalation von Sauerstoff und Lachgas im Verhältnis 1 : 1 unter Zugabe von 1 Vol.% Halothan. Untersuchungsbeginn in 1 nach Hyperventilation mit Sauerstoff. Nach Extubation erfolgt das Einsetzen der Stütze. Nachdem 2 Minuten lang manipuliert wurde, fällt der Sauerstoff auf 40 mm Hg ab, gleichzeitig erfolgt ein Anstieg des transcutan gemessenen Kohlendioxidwertes auf 80 mm Hg.

Es erfolgt daraufhin die Intubation und kontrollierte Beatmung mit reinem Sauerstoff 2 . Der Patient erholt sich rasch, wobei der Sauerstoff auf 150 mm Hg ansteigt und ein Rückgang der Kohlendioxidspannung auf 65 mm Hg zu verzeichnen ist.

Nach Wiedereinführung der Optik 3 fällt der Sauerstoff innerhalb von 90 Sekunden auf unter 35 mm Hg. Entsprechend dazu steigt CO_2 an.

Nach erneuter Intubation und Beatmung mit 100 % Sauerstoff steigt der transcutan gemessene Sauerstoffwert wieder auf 155 mm Hg an, während Kohlendioxid wieder absinkt 4 .

Im weiteren Kurvenverlauf zeigt sich dieser Wechsel noch mehrmals. Im Unterschied zu den bisher gezeigten Kurven fällt hier auf, daß die Hypoxietoleranz des Patienten sehr kurz ist. Gerade in diesen Fällen ist die transcutane Blutgasüberwachung für die korrekte Untersuchungsführung sehr wertvoll.

1.3. Überwachung bei Injektorbeatmung

Der Patient B.R. litt an häufig rezidivierenden Bronchitiden mit Bronchopneumonien, insbesondere rechtsseitig. Röntgenaufnahmen zeigten keine Ursache, ein Lungenszintigramm ergab eine Minderperfusion der rechten Seite. Die bronchologische Untersuchung ergab eine momentan nicht eitrige Bronchitis, wahrscheinlich auf dem Boden von Bronchiektasen.

Zur Untersuchung erhielt der Patient diesmal eine Ketanestnarkose. Entsprechend dem Körpergewicht von 15 kg wurden über einen Perfusor 30 mg pro 5 Minuten kontinuierlich intravenös verabreicht. Daneben erfolgte zunächst eine Maskenbeatmung mit Sauerstoff und Lachgas im Verhältnis 1 : 1. Für die weitere Untersuchung wurde dann eine maschinelle Injektorbeatmung durchgeführt.

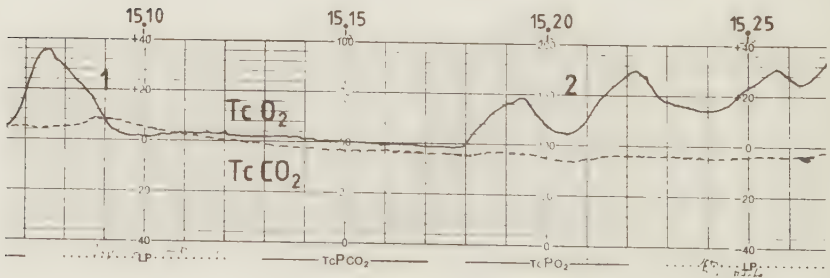


Abb. 7: B.R., 5 4/12 Jahre, 15 kg, chronisch rezidivierende Bronchitis

Die Kurve zeigt bei 1 den Beginn der Injektorbeatmung. Nach einer Stabilisierungszeit von 12 Minuten, während der auch die Kontrollblutgase abgenommen wurden, erfolgt dann die Relaxierung des Patienten, worauf ein deutlicher Anstieg der Sauerstoffkurve zu verzeichnen ist 2 .

Im weiteren Verlauf steigt die Sauerstoffspannung stark an und erreicht über 250 mm Hg, die bereits außerhalb des Meßbereiches des Schreibers liegen. Die Fortschreibung der Kurve zeigt jetzt aber auch ein deutliches Ansteigen der Kohlendioxidkurve bis auf Werte von über 75 mm Hg. Ursache hierfür ist neben einer denkbaren mechanischen Minderbelüftung durch die Injektortechnik, wohl das zeitweilige nur rechtsseitige Beatmen des Patienten aus untersuchungstechnischen Gründen.

Nach mehrmaligem Spülen wird nun in 3 intubiert. Im darauf folgenden manuellen Beatmungszyklus sinkt das Kohlendioxid wieder auf Werte unter 60 mm Hg ab, wie die Kurve unten zeigt.

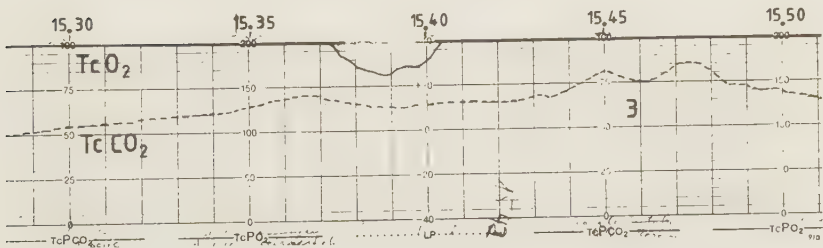


Abb. 8: Patient B.R., wie Abbildung 7

Eine weitere Injektorbeatmung zeigt die nächste Kurve. Der Patient B.Ch. litt an einer Oesophagusatresie vom Typ Vogt IIIb, wobei der distale Oesophagus als Fistel in die Trachea mündete. Nach zweimaliger Operation war nun erneut ein Rezidiv einer Oesophago-trachealen Fistel aufgetreten. Es wurde nun versucht, mittels einer Tracheoskopie den Fistelgang mit Gewebekleber zu verkleben.

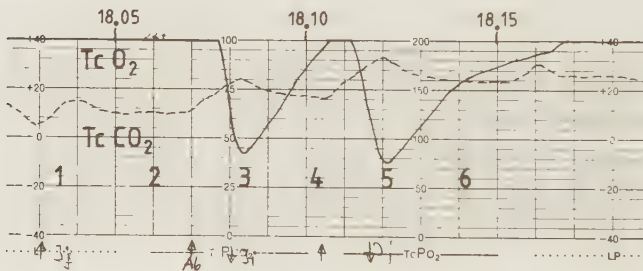


Abb. 9: Patient B.Ch., 5 Monate, 5.500 g,
Oesophago-tracheale Fistel

Die Anästhesie erfolgte in diesem Fall mittels einer Neuroleptnarkose. Nach Körpergewicht wurde eine Kombination von Luminal und Fentanyl intravenös verabreicht. Die Beatmung erfolgte wieder mit Sauerstoff und Lachgas im Verhältnis 1 : 1. Nach Darstellung der Fistel wurde in 1 der Injektor-katheter eingeführt und die maschinelle Beatmung begonnen. Lagen die Kohlendioxidwerte bis dahin durchschnittlich bei 50 mm Hg, so steigen sie während der Einführung der

Beatmungssonde auf etwa 65 mm Hg an. Während der folgenden Beatmungsphase von 3,5 Minuten steigt der Sauerstoff auf 227 mm Hg an, während der Kohlendioxidwert konstant bei 65 mm Hg bleibt 2 . Ein Absaugmanöver läßt den Sauerstoff auf 85 mm Hg absinken 3 , während das Kohlendioxid auf 75 mm Hg ansteigt.

Die anschließende Injektorbeatmungsphase läßt die Sauerstoffspannung wieder auf 220 mm Hg ansteigen 4 . Bei erneuter Entfernung der Injektorsonde 5 sinkt die Sauerstoffspannung wieder bis auf 75 mm Hg ab, während die Kohlendioxidspannung bis auf 90 mm Hg ansteigt. In der abschließenden Beatmungsphase wird der Injektorkatheter unter Sicht ca. 1 cm vor die Bifurkation gelegt 6 .

Die transcutan gemessene Sauerstoffspannung steigt innerhalb von 5 Minuten auf einen Maximalwert von 305 mm Hg an, während das Kohlendioxid nur unwesentlich um 10 mm Hg abfällt. Auch während der folgenden Beatmungsperiode von 15 Minuten schwankt es nur geringfügig um 80 mm Hg. Die Schlußfolgerung, daß besonders bei einer Beatmung durch Jetventilation eine exakte Überwachung der Blutgase wünschenswert ist, erscheint gerechtfertigt.

2. Überwachung bei Bronchoskopien

Im nachfolgendem soll die Methode am Beispiel von Bronchoskopien dargestellt werden.

Die Patientin Ö.J. leidet an einer chronischen Bronchitis. Röntgenologisch läßt sich nur ein stark vermehrtes Lungenvolumen darstellen. Daneben besteht noch ein angeborener inspiratorischer Stridor. Die bronchologische Untersuchung zeigt eine eitrige Bronchitis beidseits sowie eine dysplastische Epiglottitis.

Die Narkose wird wieder durch Inhalation von Sauerstoff und Lachgas im Verhältnis 1 : 1 unter Zugabe von 2,5 Vol.% Halothan, das dann stufenweise reduziert wird, eingeleitet.

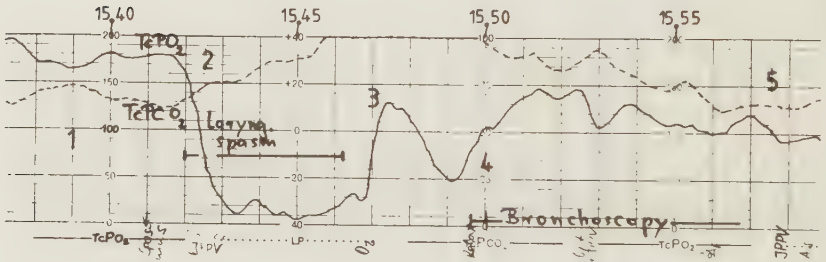


Abb. 10: Patientin Ö.J., 3 Monate, 3.870 g,
chronisch-rezidivierende Bronchitis

1 Auffällig ist zunächst in der Einleitungsphase die relativ hohe Kohlendioxidspannung von etwa 65 mm Hg, was als Krankheitsfolge angesehen werden kann. In 2 erfolgt ein plötzlicher Sauerstoffabfall bis auf Werte um 20 mm Hg, welcher auch klinisch mit einer ausgeprägten Cyanose einhergeht. Dabei steigt das Kohlendioxid auf Werte um 100 mm Hg. Ursache dafür ist ein ausgeprägter Laryngospasmus, der sich erst nach vierminütiger Maskenbeatmung unter 100 % Sauerstoff völlig löst.

3 Der Sauerstoff steigt rasch auf 130 mm Hg an, während das Kohlendioxid erst mit weiterer Verzögerung von 2 Minuten langsam aber kontinuierlich abfällt. In 4 beginnt die ei-

gentliche Untersuchung durch Intubation mit dem Bronchoskop. Im Unterschied zu den vorhergehenden Untersuchungen kann nach Einführung der Optik über das Bronchoskop weiter beatmet werden. Daß die Beatmung während der Untersuchung ausreichend ist, zeigt der folgende Kurvenverlauf. 5 Der Sauerstoff pendelt sich zwischen 100 und 120 mm Hg ein, während das Kohlendioxid kontinuierlich auf Ausgangswerte von 65 mm Hg absinkt.

3. Überwachung bei Fremdkörperextraktion

Eine andere Indikation zur Bronchoskopie im Kindesalter stellt die Fremdkörperaspiration dar.

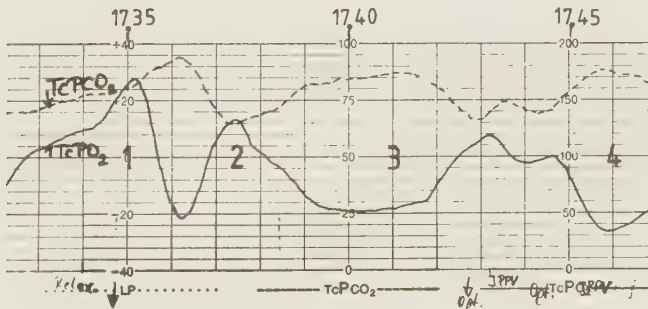


Abb. 11: Patient H.J., 16 Monate, 13 kg
Fremdkörperaspiration

Der Patient H.J. kam mit klinischen Anzeichen der Fremdkörperaspiration, wie Husten und expiratorischer Stridor zur Aufnahme. Auskultatorisch war das Atemgeräusch über

der rechten Lunge deutlich abgeschwächt. Bei der bronchologischen Inspektion zeigten sich drei Haselnußstücke von etwa 12 x 6 mm Größe, die im rechten Mittellappen-, Zwischen- und Stammbronchus lagen.

Die Narkose wird mit Ketanest 5 mg/kg KG intramuskulär eingeleitet. Die Fortführung erfolgt dann per Inhalation, wie es schon mehrfach beschrieben wurde.

Auch bei diesem Patient fällt die relativ hohe Ausgangskonzentration des Kohlendioxids von 75 - 85 mm Hg auf.

Während der Intubation mit dem Bronchoskop 1 erfolgt ein weiterer Anstieg auf 90 mm Hg, während der Sauerstoff von 150 auf 50 mm Hg abfällt. Die anschließende Beatmung 2 senkt den Kohlendioxidwert wieder auf 60 mm Hg und läßt den Sauerstoff auf 130 mm Hg ansteigen. Die nunmehr folgende Fremdkörperextraktion gestaltet sich recht schwierig.

Das Absinken des Sauerstoffs und das Ansteigen des Kohlendioxids in 3 und 4 erfordern immer wieder Beatmungspausen mit Entfernen der Optik aus dem Bronchoskop und reiner Sauerstoffgabe.

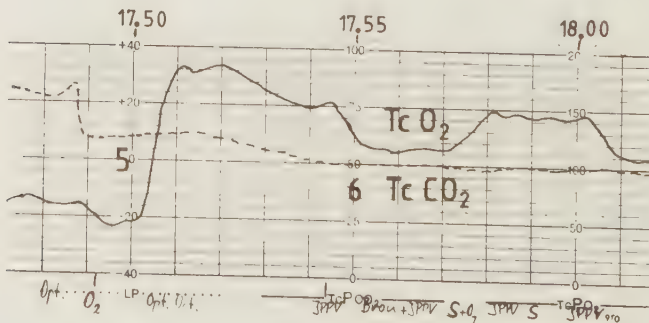


Abb. 12: Patient H.J., wie Abb. 11

In 5 erfolgt nach Entfernung der meisten Nußstücke ebenfalls reine Sauerstoffbeatmung. Der zu diesem Zeitpunkt schon deutliche Kohlendioxidabfall zeigt die erhebliche Verbesserung der Beatmungssituation. Nachdem in 6 noch ein kleiner Fremdkörperrest abgesaugt wird, stabilisiert sich die Kohlendioxidkurve bei 50 mm Hg und liegt damit unter dem Ausgangspunkt. Die Sauerstoffkurve bleibt konstant über 100 mm Hg bei 50 % Sauerstoffkonzentration in der Einatemluft.

4. Vergleich der transcutan gemessenen Werte zu arteriell bestimmten Blutgaswerten

Zum Vergleich der laufend registrierten transcutanen Meßwerte wurden zu Beginn oder am Ende des Eingriffs, arterielle oder kapilläre Blutgasproben als Kontrollwerte abgenommen. Die Entnahme erfolgte in Narkose sobald die transcutanen Blutgaswerte wenigstens 5 Minuten im Gleichgewicht geblieben waren. Insgesamt wurde bei 25 Kindern Blut entnommen. Nach Ausschluß von offensichtlich technischen Fehlern, konnten 22 arterielle Sauerstoffproben, 24 arterielle Kohlendioxidproben, 7 kapilläre Sauerstoff- und 7 kapilläre Kohlendioxidproben ausgewertet werden.

Für jede Vergleichsgruppe wurde die Korrelation und die Regression bestimmt. Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Abbildungen graphisch aufgetragen.

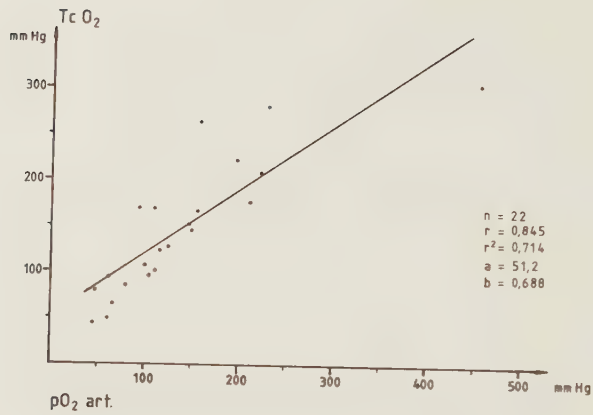


Abb. 13: Relation zwischen transcutanem und arteriellem pO_2 bei 22 Untersuchungen; $sy.x = 40,2$

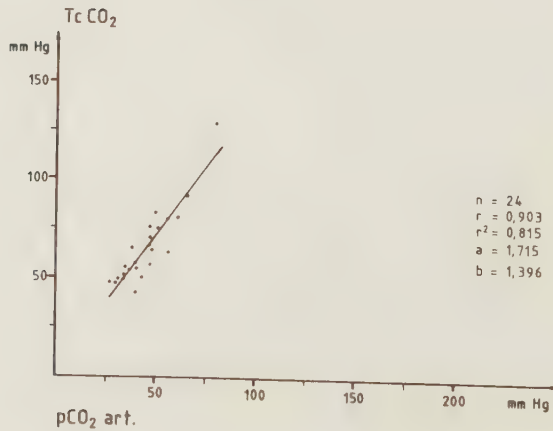


Abb. 14: Relation zwischen transcutanem und arteriellem pCO_2 bei 24 Untersuchungen; $sy.x = 8,04$

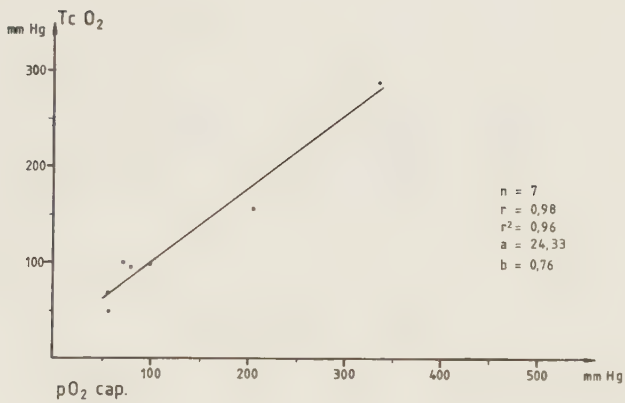


Abb. 15: Relation von transcutanem und kapillärem pO₂ bei 7 Untersuchungen; sy.x = 17,84

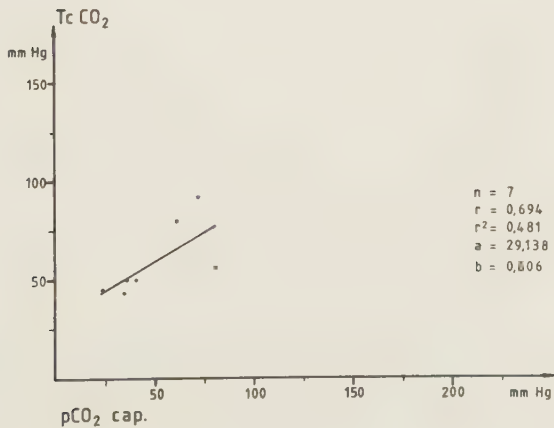


Abb. 16: Relation zwischen transcutanem und kapillärem pCO₂ bei 7 Untersuchungen;
sy.x. = 14,80

Betrachtet man zunächst die Beziehung zwischen den arteriellen und transcutanen Sauerstoffwerten, so fällt auf, daß die Korrelation weniger gut ist als man erwarten könnte. Die bisherige Literatur bezieht sich allerdings fast ausschließlich auf Intensivstationsbedingungen. Der Untersuchungsablauf läßt nicht vermuten, daß hier Meßfehler vorliegen. Die wahrscheinlichen Gründe für die Abweichungen, die in der Diskussion noch besprochen werden, seien hier aufgezählt:

- Beeinflussung der Elektroden durch Narkosegase
- ungeeignete Hautstellen zur Messung
- kritische Kreislagsituationen

Technische Fehler im Untersuchungsablauf waren sicher ausgeschlossen.

Werden die Vergleichspaare mit der größten Abweichung herausgenommen, bekommt man eine sehr viel bessere Korrelation und Regression, wie die Abbildung 17 zeigt.

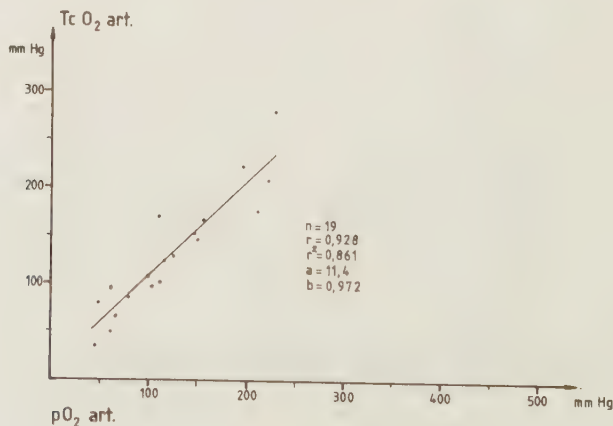


Abb. 17: Korrigierte Relation zwischen transcutanem und arteriellem pO₂ bei 19 Patienten;
sy.x. = 23,95

Es stellt sich heraus, daß unter Narkosebedingungen besonders Abweichungen der Sauerstoffwerte festzustellen sind.

Die transcutanen Kohlendioxidwerte sind sehr viel weniger beeinflußt.

Die kapillaren Werte entsprechen den Erwartungen. Ein ausführlicher Vergleich mit den arteriellen Werten unterbleibt aber, da sie von der Fallzahl her zu wenige sind. Das Hauptinteresse lag auch im Vergleich der arteriellen mit den transcutanen Meßwerten.

D. DISKUSSION

1. Bedeutung der Blutgasüberwachung

Die Möglichkeit der transcutanen Blutgasüberwachung in der Neonatologischen Intensivmedizin und ihre routinemäßige Einführung seit einigen Jahren, gab Anlaß zu der Überlegung, diese Überwachungsform auch bei risikoreichen Operationen oder bei bronchologischen Untersuchungen und Eingriffen im Kindesalter als Überwachungsmethode einzusetzen.

Neben der üblichen Monitorkontrolle der Herztätigkeit und des Blutdruckes haben wir bei 25 bronchologischen Untersuchungen und Eingriffen die transcutane Sauerstoff- und Kohlendioxidmessung zur Patientenüberwachung eingesetzt. Bei langen Eingriffen mit häufigen Apnoephasen durch die Untersuchungs- oder Behandlungstechnik liegt der Vorteil der Methode in der kontinuierlichen Beobachtung der Sauerstoff- und Kohlendioxid-Partialdrucke im Blut. Damit wird eine rechtzeitige Erfassung von Trendveränderungen möglich. Somit kann schon frühzeitig einer bedrohlichen Veränderung der Blutgaswerte entgegengewirkt werden. Eine gleichwertige Beurteilung durch andere nichtinvasive Überwachungsmethoden gibt es bis jetzt nicht. Häufige kapilläre und arterielle Blutgasproben erzeugen insbesondere bei sehr kleinen Patienten Risiken und sind technisch oft schwer durchführbar. Außerdem geben sie nur punktuelle Informationen und lassen keine Trendbeurteilung zu.

Die Bedeutung von Hypoxie und Hyperkapnie für den Organismus und deren Gefahren sind schon lange hinreichend bekannt. In den letzten Jahren konnte in der Neugeborenenintensivmedizin jedoch beobachtet werden, daß für den unreifen Organismus von Frühgeborenen auch eine Gefährdung durch Hyperoxie besteht. Besonders bei langfristigen hohen Sauerstoffkonzen-

trationen in der Atemluft sind Schäden in der Lunge sowie Veränderungen an der Retina mit konsekutiver Erblindung zu beobachten (Northway, 1976, Aranda, 1971). Daneben mehren sich auch Beobachtungen, daß die retrolentale Fibroplasie, welche zu Erblindung führt, bereits durch kurzfristige Sauerstoffspitzen im Blut ausgelöst werden kann (Betts, 1977, Merrit, 1981). Hierbei scheint vor allem der rasche Wechsel von hoher zu niedriger Sauerstoffkonzentration von Bedeutung zu sein. Der Zeitpunkt bis zu welchem Gestationsalter Neugeborene gefährdet sind, ist nur ungefähr abschätzbar. Sicher ist nur, daß die unreife Retina besonders empfindlich ist. Aus einer Arbeit von Quinn et al. (1981) geht hervor, daß noch 19 % aller Neugeborenen eine unreife Retinavaskularisation haben, die bis zum theoretischen Gestationsalter von 44 Wochen besteht. Bisherige Untersuchungen von Neugeborenen sind noch nicht in ausreichender Zahl erfolgt, um eine Retinaunreife bis zum Ende der ersten beiden Lebensmonate sicher ausschließen zu können (Dangl, 1983). Daher gilt jedes Neugeborene und jeder Säugling im Alter von wenigen Wochen als gefährdet im Hinblick auf Hyperoxieschäden. Aus diesem Grunde sollte bei operativen Eingriffen möglichst eine Sauerstoffüberwachung stattfinden.

2. Technische Probleme

Aus unseren Erfahrungen mit der transcutanen Blutgasüberwachung sind nun zunächst einmal technische Probleme zu diskutieren. Als erstes sei die Elektrodengröße erwähnt. Besonders bei Neugeborenen und Säuglingen ist es notwendig, kleine Elektroden zu haben. Die günstigsten Meßpunkte liegen im Thorax- und Oberbauchbereich. Dort sollen aber auch noch drei EKG-Elektroden sowie das präcordiale Stethoskop angebracht werden. Bei unserem Gerät traten durch die Elektrodengröße auch Befestigungsprobleme auf. Sie lösten sich

leichter von den Kleberingen ab oder saßen durch ihr Kippmoment nicht eben auf der Hautoberfläche auf. In den letzten Jahren wurden schon kleinere Elektroden entwickelt, die sich auch besser befestigen lassen. Ein entscheidender Fortschritt wird sich jedoch erst durch die Entwicklung von Kombinationselektroden ergeben, bei denen Sauerstoff- und Kohlendioxidmessung unter e i n e r Membran erfolgen. Dadurch wird auch die Handhabung verbessert und der Materialverbrauch verringert. Erste Erfahrungen mit Kombinations-elektroden liegen bereits vor (Whitehead et.al., 1980 u. 1981). Bis zum Einsatz im Routinebetrieb sind aber noch weitere technische Verbesserungen erforderlich.

Im gleichen Zug mit den Elektroden muß auch die Gesamtgröße des Meßgerätes verringert und das Gewicht reduziert werden. Ein Schreiber ist für wissenschaftliche Zwecke notwendig, bei der Routineanwendung der Geräte ist aber die optische Anzeige der Meßwerte ausreichend. Es genügt daher ein Schreiberausgang, um diesen als Zusatzgerät anschließen zu können. Sauerstoff- und Kohlendioxidmeßteil sind am besten als getrennte Bausteine zu fertigen, um sie je nach Verwendungszweck getrennt oder in Kombination einsetzen zu können. Hier werden von der Industrie inzwischen schon handliche Geräte angeboten, teilweise stromnetzunabhängig für die Transportüberwachung.

Der Eichvorgang war bei unserem Gerät, wie oben beschrieben, sehr zeitaufwendig. Vor allem ist anzustreben auf Eichgase mit genau abgestimmten Konzentrationen zu verzichten, da diese sehr teuer im Einkauf sind. Zudem sind die Mischgasflaschen schwer, unhandlich und benötigen viel Platz. Auch hier gibt es inzwischen Verbesserungen: Die Sauerstoffelektrode kann gegen Raumluft geeicht werden, für die Kohlendioxidelektrode wird nur noch eine Kohlensäurepatrone benötigt.

Ein wesentlicher Kostenfaktor war bei unserem Gerät der Ver-

brauch von Membransätzen. Das Aufbringen der Membranen war nach einiger Übung nicht schwierig, so daß kein Mehrverbrauch durch fehlerhafte Handhabung auftrat. Die Haltbarkeit ließ jedoch zu wünschen übrig, da sich relativ schnell Gasblasen bildeten. Somit konnten die angegebenen Verwendungszeiten nicht erreicht werden. Ein Nachfüllen von Elektrolytflüssigkeit ohne gleichzeitiges Auswechseln des Membransatzes erwies sich als nicht durchführbar.

Ein weiteres technisches Problem ist der Einfluß von Narkosegasen, wie Lachgas und Halothan auf die Meßgenauigkeit der Elektroden. Halothan wird an der Sauerstoffelektrode reduziert, wobei ein zusätzlicher Stromfluß entsteht, der dann eine falsch höhere Sauerstoffspannung vorgibt (Eberhard, 1979). Bei Halothankonzentrationen von 1 Vol. % beträgt die Drift bis zu 15 mm Hg pro Stunde (Dangl, 1983). Bei uns lagen die transcutan gemessenen Sauerstoffwerte im Mittel 12 mm Hg über den arteriellen Werten ohne Zeitberücksichtigung. Allerdings haben wir eine zu geringe Fallzahl ohne Halothaneinfluß, um einen Unterschied bei Narkosen mit und ohne Halothan herausarbeiten zu können. Das Problem läßt sich inzwischen durch halothanundurchlässige Membranen lösen. Sowohl bei Mylar- wie bei Teflonmembranen tritt ein geringer Meßfehler auf, (Dangl, 1983, Sugioka, Woodley, 1982) der hingenommen werden kann.

Die gerätebedingte Drift liegt bei drei von Versmold untersuchten Geräten sowohl in vitro als auch in vivo sehr niedrig. Für die Novamatrix-Elektrode wurde eine Drift von 1,1 mm Hg pro Stunde angegeben (Versmold 1978). Diese Drift kann für den Zeitrahmen von bronchologischen Eingriffen daher vernachlässigt werden.

3. Praktische Anwendung

Die praktische Anwendung erfordert einige Erfahrungen spezifischer Art. Zunächst muß, im Gegensatz zur Anwendung in der Intensivüberwachung, ein Gerät mit einer möglichst kurzen Ansprechzeit gewählt werden. Unter Ansprechzeit versteht man die Zeit von der Änderung der Parameter in vivo bis zur Anzeige am Gerät. Bei Neugeborenen wird diese für die Novamatrix-Elektrode bei einer Temperatur von 44° C mit 15 Sekunden angegeben. Bei unseren Beobachtungen betrug die Ansprechzeit bis zu 30 Sekunden. In Abhängigkeit vom Alter der Patienten, gehen mehrere variable Größen in die Ansprechzeit der Elektroden ein, wie z. B. die Hautdicke, lokale Durchblutungsgrößen, unterschiedliche Stoffwechselvorgänge in der Haut. Da diese Parameter nicht bestimmbar sind, kann auch keine statistisch abgesicherte Ansprechzeit angegeben werden. Lachgas beeinflusst die Meßelektrode dann, wenn sie durch Silber von der Anode beschlagen ist (Eberhard, Mindt 1981). Diese Abweichung ist bei Platinelektroden größer als bei Goldelektroden.

Für den Benutzer ist wichtig zu wissen, daß nach Ablauf der Ansprechzeit noch kein absoluter Blutgaswert abzulesen ist, sondern nur festgestellt wird, ob die jeweilige Meßgröße ansteigt oder abfällt und ob sie auf kritische Grenzwerte zuläuft.

Ein weiteres Kriterium für einwandfreie Meßergebnisse ist die Auswahl eines geeigneten Meßpunktes. Nach dem Aufkleben der Elektroden auf die Haut wird beobachtet, ob an diesem Meßpunkt die Ansprechzeit genügend kurz ist. Pendelt sich der transcutane Meßwert nur langsam ein und sind vor allem die Anfangsänderungen nur träge, so muß ein anderer Elektrodenplatz gewählt werden. Dieses Austesten ist um so wichtiger, je älter die Patienten sind.

Um den Meßfehler beurteilen zu können, ist derzeit noch not-

wendig, die Elektrode am Patienten zu "eichen". Das heißt, man muß nach dem Aufkleben der Elektroden abwarten bis sich der transcutane Meßwert stabilisiert hat. Dann entnimmt man eine möglichst arterielle Blutprobe und bekommt damit einen Bezugswert, mit welchem ein eventueller Fehler abgeschätzt werden kann. Diese Stabilisierungsphase kann bei der Novametrixelektrode mit etwa 5 Minuten angegeben werden. Ggfs. muß nach dem Vergleich der Elektrodensitz noch einmal korrigiert werden.

Daß dieses Vorgehen zur Beurteilung eines guten Meßpunktes wichtig ist, zeigt die statistische Auswertung unserer Ergebnisse. Trägt man z. B. die transcutanen gegen die arteriell bestimmten Sauerstoffwerte von 22 Patienten auf, wie es in Abbildung 13 gezeigt ist und berechnet daraus die mittlere Standartabweichung $sy.x$, so ergibt sich ein Wert von 40,2. Das bedeutet, daß mit einer Abweichung bis zu 40 mm Hg gegenüber dem arteriellen Sauerstoffwert gerechnet werden muß. Bereinigt man die Vergleichspaare von denjenigen, die am weitesten voneinander abweichen, so ergibt sich eine wesentlich strengere Korrelation, bei der die zu erwartende Abweichung nur noch die Hälfte beträgt ($sy.x = 23,95$). Die Abweichungen ergaben sich bei unserer Patientengruppe auch deswegen, weil die Eichmessung bei 16 von 25 Patienten erst am Ende der Untersuchung durchgeführt wurde und damit die Driften mit eingehen. Bei vorheriger Eichung der Elektrode am Patienten kann man den lokalen Meßfehler also abschätzen, eine wesentliche Gerätedrift liegt nicht vor und eine eventuelle Halothanbeeinflussung läßt sich ebenfalls beurteilen. Eine noch bessere Beurteilung des Meßpunktes ließe sich durch eine Messung des Kapillarblutflusses unter der Elektrode erreichen, was bisher technisch nicht möglich ist. Dabei könnte eine strenge Beziehung zwischen Durchblutungsgröße und transcutan gemessenem Blutgaswert gefunden werden und damit wäre eine exakte Beurteilung möglich. Als Grenzbereiche,

in denen die Elektrode nur unzureichend die Blutgassituation wiedergibt, sind derzeit alle Schocksituationen sowie Haut-Ödeme zu nennen. Beim Neugeborenen können bis zu systolischen Blutdruckwerten von 35 mm Hg noch zuverlässige transcutane Blutgaswerte erzielt werden (Versmold 1978).

Die im Kapitel C beschriebenen Untersuchungsabläufe zeigen die prinzipielle Brauchbarkeit dieser Überwachungsmethode. Man erkennt in allen Kurvenverläufen, daß die transcutanen Sauerstoffwerte sehr viel schneller auf Veränderungen reagieren wie die Kohlendioxidwerte. So wird der Sauerstoffmessung wohl auch die größere Bedeutung bei der Überwachung von bronchologischen Eingriffen zukommen. Ein gutes Beispiel für die Wichtigkeit der Überwachung der Sauerstoffkonzentration im Blut zeigt die Kurve des Patienten S.Ch. in Abb. 6. Der rasche Anstieg und Abfall der Sauerstoffkonzentration deutet auf die noch sehr geringe Hypoxietoleranz des Organismus hin. Andererseits werden bei reiner Sauerstoffbeatmung schnell arterielle Sauerstoffspitzen bis zu 150 mm Hg erreicht. Ohne kontinuierliche Blutgasüberwachung ist in diesem Fall eine exakte Narkoseführung, bei der extreme Sauerstoffschwankungen vermieden werden sollen, gar nicht möglich. Wie bereits erwähnt, unterliegen die transcutan gemessenen Kohlendioxidwerte geringeren Schwankungen und folgen den aktuellen Situationen im Organismus nur langsam nach.

Wir konnten einige Indikationen darstellen, bei denen die Kohlendioxidmessung trotzdem nützlich ist. In diesem Zusammenhang ist besonders die Trendbeobachtung der Kohlendioxidwerte wichtig. Beispiele hierfür sind Eingriffe, die unter Anwendung der Injektorbeatmung durchgeführt werden. Bei dem Patienten B.R., Abb. 7 und 8, zeigt die Meßkurve deutlich, daß mit zunehmender Dauer der Untersuchung die Kohlendioxidspannung immer weiter ansteigt und trotz guter Sauerstoffversorgung Bereiche erlangt, die weit jenseits

physiologischer Grenzen liegen. Erst nach Hyperventilation durch manuelle Beatmung sinken die Kohlendioxidwerte wieder in den Normbereich ab.

Ein ähnliches Beispiel zeigt der Kurvenverlauf des Patienten B.Ch., Abb. 9, bei dem ebenfalls langfristige Manipulationen unter Injektorbeatmung durchgeführt wurden. Auch hier überschritten die Kohlendioxidwerte immer wieder die physiologischen Grenzen erheblich.

Die bronchoskopische Fremdkörperextraktion ist ein weiterer Eingriff, bei dem neben der Sauerstoffmessung die Kontrolle des Kohlendioxidpartialdruckes im Blut ein wichtiges Überwachungskriterium für den Anästhesisten und den Operateur darstellt. Anhand der Kurve des Patienten H.J., Abb. 11 und 12, läßt sich gut darstellen, daß die mehrmaligen Extraktionsversuche durch den jeweiligen Anstieg der Kohlendioxid- sowie durch den Abfall der Sauerstoffspannung limitiert sind. Mit der kontinuierlichen Überwachung der beiden Parameter können Anästhesisten und Operateur die Dauer der einzelnen Extraktionen ohne Gefährdung des Patienten festlegen.

Abschließend läßt sich feststellen, daß die transcutane Sauerstoff- und Kohlendioxidmessung bei kinderbronchologischen Eingriffen ein wichtiges Hilfsmittel zur Überwachung der Patienten darstellt. Die Meßtechnik ist im einzelnen noch verbesserungsbedürftig. Es hat sich gezeigt, daß der Vorzug der Methode eher im frühzeitigen Erkennen von kritischen Ventilationsveränderungen liegt und weniger im Ablesen von absoluten Blutgaswerten. Für eine erfolgreiche Anwendung ist es erforderlich, daß der Untersucher mit den gerätebedingten Fehlermöglichkeiten vertraut ist und sowohl die physiologischen Grundlagen wie auch die Grenzbereiche der Methode kennt.

E. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird die Brauchbarkeit der transcutanen Blutgasmessung zur Routineüberwachung bei kinderbronchologischen Eingriffen untersucht.

Bei insgesamt 25 Patienten im Alter von 8 Wochen bis zu 5 1/2 Jahren wurde diese Methode zur Narkoseüberwachung eingesetzt. Während des gesamten Ablaufs der jeweiligen Untersuchung wurden die transcutan ermittelten Blutgaswerte fortlaufend registriert und graphisch dargestellt.

Anhand einzelner Verlaufskurven werden typische bronchologische Untersuchungs- und Behandlungsverfahren beschrieben. Dabei wird die Übereinstimmung der angezeigten transcutanen Blutgaswerte mit dem klinischen Untersuchungsablauf geprüft. Daneben wird die Korrelation von blutig und transcutan gemessenen Blutgaswerten bestimmt.

In der Diskussion werden die technischen Probleme ausführlich dargestellt und die Anwendbarkeit der Methode für den Routineeinsatz in der Kinderbronchologie beschrieben. Es wird festgestellt, daß die transcutane Blutgasmessung bei kritischer Anwendung ein wichtiges Hilfsmittel für die Patientenüberwachung darstellt.

F. LITERATUR

- Aranda, J.V., Saheb N., et al.: Arterial oxygen tension and retinal vasoconstriction in newborn infants. Am.J.Dis.Child 122 : 189 (1971)
- Baumberger J.P., Goodfriend R.B.: Determination of arterial oxygen tension in man by equilibration through intact skin. Fed. Proc. 10 : 10 (1951)
- Betts E.K., Downes J.J., Schaffer D.B., Johns R.: Retrolental fibroplasia and oxigen administration during general anesthesia. Anesthesiology 47 : 518 (1977)
- Dangl P.: Die transcutane PO_2 - und PCO_2 - Messung - eine Möglichkeit zur Narkoseüberwachung bei Kleinkindern? In: Narkosebeatmung im Kindesalter; Klinische Anästhesiologie und Intensivtherapie 26 : 34, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg (1983)
- Eberhard P., Hammacher K., Mindt W.: Proc. Medizin-Technik 1972, S. 26, Stuttgart (1972)
- Eberhard P., Mindt W.: Interference of anesthetic gases at oxygen sensors. Birth Defects: Original Article Series Vol XV, 4 : 65 (1979)
- Eberhard P., Schäfer R.: A sensor for noninvasive monitoring of carbon dioxide. Brit. Journ. of Clin. Equipm. 5 : 224 (1980)
- Eberhard P., Mindt W.: Interferences of anesthetic gases at skin surface sensors for oxygen and carbon dioxide. Critical Care Medicine, Vol 9, 10 : 717 (1981)
- Evans N.T., Naylor P.F.: The dynamics of changes in dermal oxygen tension. Respir. Physiol. 2 : 46 (1966/67)
- Evans N.T., Naylor P.F.: The oxygen tension gradient across human epidermis. Respir. Physiol. 3 : 38 (1967)
- Gerlach: Über das Hautatmen, Arch. Anat. Physiol., S. 431 (1851)
- Huch A., Huch R., Lübbers D.W.: Quantitative polarographische Sauerstoffdruckmessung auf der Kopfhaut des Neugeborenen. Arch. Gynäkol. 207 : 443 (1969)
- Huch R., Lübbers D.W., Huch A.: Quantitative continuous measurement of partial oxygen pressure on the skin of adults and newborn babies. Plügers Arch. 337 : 185 (1972)

- Huch A., Huch R., Lucey J.F.: Continuous transcutaneous bloodgas monitoring. The National Foundation March of Times, Birth Defects: Original Article Series, Vol XV, 4, New York (1979)
- Huch R., Fallenstein F., et al.: TcpCO_2 - state of development. Birth Defects: Original Article Series, Vol XV, 4 : 413 (1979)
- Lübberts D.W.: History of transcutaneous PO_2 measurement. Critical Care Medicine, Vol 9, 10 : 693 (1981)
- Merrit J.C., Srague D.H., Merrit W.E., Ellis R.A.: Retro-lental fibroplasia, a multifactorial disease. Anesth. Analg. 60 : 109 (1981)
- Northway W.H., Rezeau L., Petriceks R., Bensch K.G.: Oxygen toxicity in the newborn lung. Pediatrics 57 : 41 (1976)
- Pialoux P., Soudant J.: Geschichte der Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde. In: Illustrierte Geschichte der Medizin, S. 2739. Andreas & Andreas Verlagsbuchhandlung, Salzburg (1983)
- Pollich A.: Entwicklung der Kinderbronchologie im Dr. von Haunerschen Kinderspital in München in den Jahren 1968 bis 1976. Dissertationsschrift, Ludwig-Maximilians-Universität München (1980)
- Quinn G.E., Betts E.K., Diamond G.R., Schaffer D.B.: Neonatal age (human) at retinal maturation. Anesthesiology 55 : 326 (1981)
- Riegel K.P., Versmold H.T.: Intraarterial vs. transcutaneous pO_2 - monitoring in newborn infants. Biotelemetry Patient Monitoring 6 : 32 (1979)
- Rooth G., Sjöstedt S., Caligara F.: Bloodless determination of arterial oxygen tension by polarography. Science Tools, The LKB Instrument Journal, Vol 4, 3 : 3 (1957)
- Severinghaus J.W., Bradley A.F.: Electrodes for blood pO_2 and pCO_2 determination. Journ. Appl. Physiol., 38 : 646 (1958)
- Severinghaus J.W., Bradley A.F., Stafford M.J.: Transcutaneous pCO_2 electrode design with internal silver heath path. In: birth Defects. Original Article Series, Vol XV, 4 : 265 (1979)
- Stowe R.W., Baer R.F., Randall B.F.: Rapid measurement of tension of carbon dioxide in the blood. Arch. Phys. Med. Rehabil., 38 : 646 (1957)

- Sugioka K., Woodley Ch.: The use of transcutaneous oxygen electrodes in the presence of anesthetic agents.
Canadian Anaesth. Soc. Journ., p. 498 (1982)
- Versmold H.T., Onken D., Höpner F., Riegel K.P.:
Transcutaneous monitoring of pO_2 in the sick newborn.
In: Intensive Care in the Newborn (Ed.: Stern L.),
New York (1976)
- Versmold H.T., Holzmann M., Linderkamp O., Riegel K.P.:
Skin oxygen permeability in premature infants.
Pediatrics Vol 62, 4 : 488 (1978)
- Versmold H.T., Linderkamp O., Stuffer K.H., et al.: In vivo vs. in vitro response time of transcutaneous pO_2 electrodes. Acta Anaesth. Scandinavia 68 : 40 (1978)
- Versmold H.T., Linderkamp O., Holmann M., et al.: Limits of $tcpO_2$ monitoring in sick neonates: relation to blood pressure, blood volume, peripheral blood flow and acid base status. Acta Anaesth. Scand. 68 : 88 (1978)
- Versmold H.T., Brünstler A., et al.: Transcutaneous pCO_2 monitoring of newborn infants in shock at electrode temperatures of $41^\circ C$ to $44^\circ C$. Intensive Care Medicine, 7 : 251 (1981)
- Whitehead M.D., Halsall D., Pollitzer M.J. et al.:
Transcutaneous estimation of arterial pO_2 and pCO_2 in newborn infants with a single electro-chemical² sensor. Lancet 1 : 1111 (1980)
- Whitehead M.D.: Transcutaneous pO_2 and pCO_2 monitoring with a single electro-chemical sensor; its clinical use and advantages in neonatal intensive care.
Intensive Care Medicine, 7 : 256 (1981)

DANKSAGUNG

Am Schluß meiner Arbeit möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Hecker und Herrn Priv.Do. Dr. Mantel für die Überlassung des Themas und die freundliche Anregung und Unterstützung bei der Niederschrift bedanken.

LEBENS LAUF

Geboren am: 3. Oktober 1947 in München

Eltern: Fritz Stöckel, Maschinenbauingenieur
Hella Stöckel, geb. Kienzle

Volksschule: 1954 - 1958 in Gräfeling

Gymnasium: 1958 - 1967, Kurt-Huber-Gymnasium in Gräfeling

Wehrdienst: 18 Monate beim Sanitätsdienst der Bundeswehr

Studium: 1969 - 1970 in Hamburg, Naturwissenschaft-
liche Vorprüfung
1970 - 1975 in München, Ludwig-Maximilians-
Universität

Examen: Juni 1975 Staatsexamen

Medizinal-
assistenten-
zeit: 1975 - 1976 im Kreiskrankenhaus Bad Aibling
(Chefarzt Dr. H. Köstler)

Approbation: 3. September 1976

Beruf.

Weiterbildung/

Tätigkeiten: 01.09. 1976 - 30.09. 1980, Weiterbildung zum
Arzt für Anästhesiologie am Städtischen Kran-
kenhaus Rosenheim

01.10. 1980 - 31.08. 1983, Assistenzarzt in der
Abt. f. Pädiatrische Anästhesie und Intensiv-
medizin der Kinderchirurgischen Klinik im
Dr. v. Haunerschen Kinderspital der Universität
München

September 1981, Anerkennung als Anästhesist

01.09. 1983 andauernd, Oberarzt in der Abt. f.
Anästhesie und Operative Intensivmedizin (Chef-
arzt Dr. A. Schellenberger) des Städtischen
Krankenhaus Rosenheim

Fam.-Stand: verheiratet seit 1978 mit Marion Stöckel, geb.
Bertram, 2 Kinder

